

УДК 622.235

DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2018-2\(82\)-277-281](https://doi.org/10.26642/tn-2018-2(82)-277-281)

О.О. Фролов, д.т.н., проф.

І.Д. Литвинчук, студент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Техніко-економічне обґрунтування вибору діаметру свердловинного заряду для проведення буропідричних робіт на кар'єрах

За результатами аналізу попередніх наукових досліджень встановлено, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду вибухової речовини для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою. Існуючі методики розрахунку діаметрів свердловин для однакових умов ведення буропідричних робіт надають різні чисельні результати. Запропоновано для визначення раціонального діаметру свердловинного заряду при веденні буропідричних робіт на кар'єрах застосувати методику, в основі якої закладено техніко-економічна оцінка показників буріння та підривання.

Отримана розрахункова формула для визначення діаметру свердловинного заряду, яка пов'язує вартісні показники буріння свердловин та підривання, а також характеристику тріщинуватості гірського масиву. Це дозволяє для конкретних гірничо-геологічних та технологічних умов розробки родовища визначити раціональний діаметр свердловинних зарядів для ведення буропідричних робіт на кар'єрах

Представлена графічна залежність визначення оптимального діаметру свердловини для певних техніко-економічних показників при різній тріщинуватості гірського масиву. Встановлено, що для руйнування практично монолітного масиву діаметр свердловинного заряду необхідно менший, ніж для сильнотріщинуватого.

Ключові слова: вибух; руйнування; діаметр свердловини; гірські породи; вибухова речовина; кар'єр.

Постановка проблеми. Підвищення інтенсивності вибухового руйнування гірських порід за рахунок збільшення потужності вибухових речовин (ВР) або зменшення відстані між свердловинами в більшості випадків є неефективним, оскільки веде до зростання об'єму переподрібнених фракцій. Тому виникає необхідність розробки більш раціональних способів регулювання вибухового руйнування скельних масивів, що дозволяють без збільшення енерговитрат отримати необхідне подрібнення порід [1–3]. Одним з таких способів є вибір оптимального діаметру свердловинного заряду ВР, який, в свою чергу, визначає основні параметри буропідричних робіт.

На сучасних кар'єрах застосовують свердловини діаметром від 100 до 320 мм. До теперішнього часу немає однозначного рішення про найбільш раціональний діаметр свердловин. Зокрема, зменшення діаметра свердловин призводить до збільшення швидкості буріння. Однак при цьому продуктивність бурового верстата за загальним показником виходу гірничої маси зазвичай знижується порівняно зі свердловинами великого діаметра. У кожному конкретному випадку доцільність застосування певного діаметру свердловини повинна перевірятися техніко-економічним розрахунком з урахуванням необхідного ступеня дроблення породи, труднощів проробки підшви уступу, продуктивності бурового і гірничо-транспортного устаткування. Тому вибір раціонального діаметра свердловинного заряду, як засобу управління подрібненням гірських порід підривання, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно норм технологічного проектування [4], для забезпечення заданої інтенсивності подрібнення порід діаметр свердловин повинен визначатися на наступною формулою, мм

$$d = 9H + 35,5 K_p + 33,5 F - 195, \quad (1)$$

де H – висота уступу, м; K_p – коефіцієнт розпушення підірваної гірничої маси; F – група ґрунтів за СНІП.

Водночас автори в [5] пропонують діаметр свердловинного заряду встановлювати як, м

$$d = \sqrt{\frac{4qWaH}{\pi\Delta(L_c - l_{заб})}}, \quad (2)$$

де q – проектна питома витрата ВР, кг/м³; a – відстань між свердловинами, м; W – лінія опору по підшві уступу, м; Δ – щільність заряджання ВР, кг/м³; L_c – глибина свердловини, м; $l_{заб}$ – довжина забійки, м.

В роботі [6] пропонується діаметр свердловини для заданої висоти уступу H , при якому свердловинна заповнюється ВР на 2/3 її довжини і більше, визначати за формулою, м

$$d_c = 28H \sqrt{\frac{q_p}{\Delta}}, \quad (3)$$

де H – висота уступу, м; q_p – розрахункова питома витрата ВР, кг/м³; Δ – щільність заряджання ВР, т/м³.

Дослідники в [7] стверджують, що між діаметром свердловини d і максимально допустимим розміром шматка C існує прямий зв'язок, який виражається формулою:

$$D = KC, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від складності подрібнення порід.

Діаметр свердловини, що відповідає умовам рівності продуктивності бурового станка та екскаватора [8], становить, мм.:

$$d = 100 \sqrt{E_c}, \quad (5)$$

де E_c – ємність ковша екскаватора, м³.

Найбільш детально проведено аналіз щодо вибору діаметру свердловинного заряду у роботі [9], де виконано узагальнену численну обробку результатів для конкретних гірничо-геологічних та технологічних умов розробки. Зокрема прийнято, що свердловинні заряди грамоніту 79/21 підриваються в середньотріщинуватих гранітах. Висота уступу $H = 13$ м, глибина свердловини $L_c = 15$ м, довжина забійки $l_{заб} = 5$ м, питома витрата ВР $q = 0,9$ кг/м³, щільність заряджання ВР $\Delta = 950$ кг/м³, лінія опору по підшві уступу $W = 6$ м.

Розрахунки показали, що величина діаметрів свердловин для однакових умов застосування коливається від 105 до 337 мм, що не дає змоги встановити закономірність щодо вибору діаметра свердловинного заряду.

Мета дослідження. Вищенаведений аналіз попередніх досліджень показав, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду ВР для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою і є неоднозначним. Тому метою роботи є розробка найбільш ефективної методики визначення діаметра свердловинного заряду в конкретних гірничо-геологічних умовах відпрацювання родовища.

Викладення основного матеріалу. Пропонується для визначення діаметру свердловинного заряду на кар'єрах застосувати методику, яка ґрунтується на техніко-економічній оцінці показників буропідривних робіт [10, 11].

В цілому загальні питомі витрати на буропідривні роботи становлять, грн.:

$$C_{БПР} = C_B + C_{ПР}, \quad (6)$$

де C_B – питомі витрати на буріння свердловин, грн/м³; $C_{ПР}$ – питомі витрати на підривні роботи, грн/м³.

Витрати на буріння гірських порід можна представити у вигляді, грн.:

$$C_B = \frac{c_{бур}}{B}, \quad (7)$$

де $c_{бур}$ – експлуатаційні витрати на буріння 1 м свердловин, грн/м; B – вихід гірничої маси з 1 м свердловини, м³.

Витрати на вибухові роботи, грн.:

$$C_{ПР} = c_{ВР} q, \quad (8)$$

де $c_{ВР}$ – вартість 1 кг ВР з урахуванням додаткових витрат на заряджання, грн/кг; q – розрахункова питома витрата ВР, кг/м³.

Складові, що входять до (7) та (8) можна визначити за наступними формулами.

Вихід гірничої маси з 1 м свердловини з урахуванням коефіцієнту використання свердловини становить:

$$B = k_b \frac{p}{q}, \quad (9)$$

де k_b – коефіцієнт використання свердловини (для середніх умов $k_b=0,65-0,75$); p – місткість свердловини, кг:

$$p = \frac{10^{-6} \pi d_3^2}{4} \Delta, \quad (10)$$

де d_3 – діаметр свердловинного заряду, мм; Δ – щільність заряджання ВР в заряді, кг/м³.

Формула для визначення питомої витрати ВР в залежності від діаметра свердловинного заряду [10] має вигляд, кг/м³

$$q = q_p \left(0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_o d_3 \right) k_n, \quad (11)$$

де q_p – розрахункова питома витрата ВР для руйнування гірського масиву на шматки розміром більше ніж 500 мм, кг/м³;

$$q_p = 0,13\gamma^4\sqrt{f}, \quad (12)$$

де γ – щільність гірської породи, т/м³; f – коефіцієнт міцності за шкалою проф. Протодьяконова; d_o – середній розмір окремоті в гірському масиві, м; d_3 – діаметр свердловинного заряду, мм; k_n – коефіцієнт, що враховує поправку, якщо розмір шматків d_n не 500 мм:

$$k_n = \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_n}\right)^2}. \quad (13)$$

Загальні витрати на буропідривні роботи представимо через окремі витрати на буріння та підривні роботи з урахуванням формул (9–13). Після певних перетворень отримаємо:

$$C_{\text{БПР}} = 0,13\gamma^4\sqrt{f} \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_n}\right)^2} \left(0,6c_{\text{ВР}} + 3,3 \cdot 10^{-3} d_o d_3 c_{\text{ВР}} + \frac{2,4c_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d_3^2 \Delta k_b} + \frac{13,2 \cdot 10^{-3} d_o c_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d_3 \Delta k_b} \right). \quad (14)$$

Якщо у формулу (14) підставити значення діаметра свердловинного заряду, то можна отримати для порід різної міцності та тріщинуватості при визначеній вартості буріння 1 м свердловини і вартості ВР, загальні витрати на буропідривні роботи. Мінімальні значення цих витрат будуть відповідати оптимальному діаметру вибухових свердловин.

Для встановлення оптимального значення діаметру свердловинного заряду для конкретних гірничо-геологічних умов розробки родовища візьмемо часткову похідну з виразу (14) по d_3 і прирівнявши її до нуля, отримаємо після перетворення неповне кубічне рівняння:

$$d_3^3 - \frac{4 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi k_b \Delta c_{\text{ВР}}} d_3 - \frac{1,45 \cdot 10^9 c_{\text{бур}}}{\pi k_b d_o \Delta c_{\text{ВР}}} = 0. \quad (15)$$

Після розв'язання рівняння (15) отримаємо [12]

$$d_3 = 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} k_b \Delta} \left(\frac{0,33}{d_o} + \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{0,22c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} k_b \Delta}} \right)} + 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} k_b \Delta} \left(\frac{0,33}{d_o} - \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{0,22c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}} k_b \Delta}} \right)}; \quad (16)$$

З урахуванням того, що середнє значення коефіцієнту використання свердловини становить $k_b=0,7$ та в якості вибухової речовини переважно використовують емульсії, щільність заряджання яких в середньому становить $\Delta=1250$ кг/м³, формула (16) остаточно набуде вигляду:

$$d_3 = 100 \left(\sqrt[3]{\frac{0,8c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}} \left(\frac{0,33}{d_o} + \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}}} \right)} + \sqrt[3]{\frac{0,8c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}} \left(\frac{0,33}{d_o} - \sqrt{\frac{0,11}{d_o^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВР}}}} \right)} \right). \quad (17)$$

На підставі формули (17) отримана графічна залежність визначення оптимального діаметру свердловини для певних техніко-економічних показників при різній тріщинуватості гірського масиву (рис. 1). Прийнято, що експлуатаційні витрати на буріння 1 м свердловин становлять $c_{\text{бур}}=280$ грн/м, вартість 1 кг ВР – $c_{\text{ВР}}=16,1$ грн/кг. Тріщинуватість гірського масиву враховується через середній розмір окремоті в гірському масиві d_o . Для I категорії тріщинуватості середнє значення $d_o=0,05$ м; для II категорії – $d_o=0,3$ м; для III категорії – $d_o=0,75$ м; для IV категорії – $d_o=1,25$ м; для V категорії – $d_o=1,75$ м.

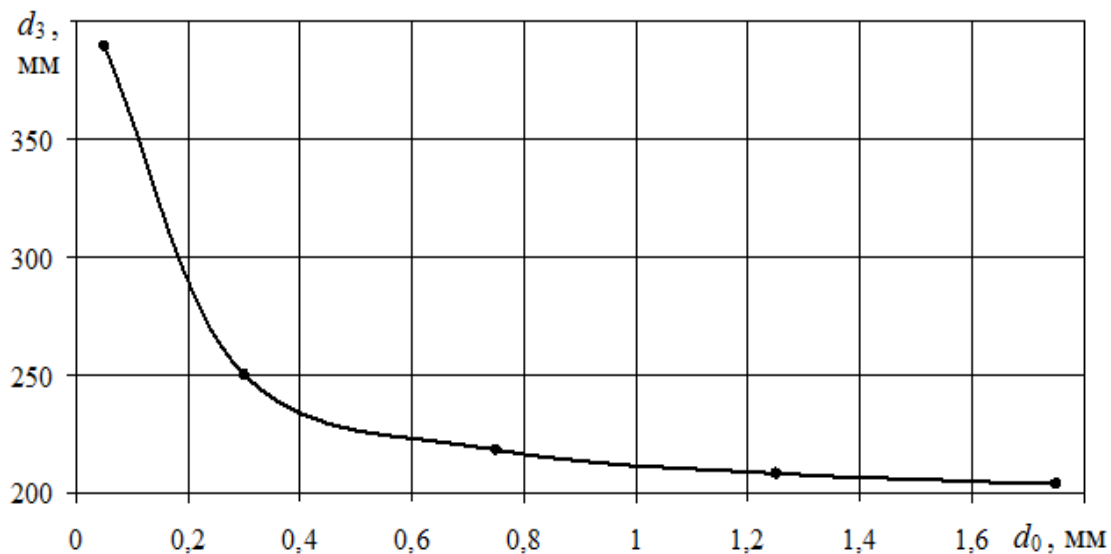


Рис. 1. Залежність оптимального діаметру свердловини від середнього розміру окремісті гірського масиву

Висновки:

За результатами проведених досліджень встановлено, що питання вибору ефективного діаметру свердловинного заряду ВР для руйнування скельних гірських порід на кар'єрах досліджено не повною мірою і є неоднозначним.

Запропоновано для визначення діаметру свердловинного заряду на кар'єрах застосувати методику, яка ґрунтується на техніко-економічній оцінці показників буропідривних робіт.

Представлена розрахункова формула для визначення оптимального діаметру свердловинного заряду ВР, яка пов'язує вартісні показники буріння та підривання, а також характеристики тріщинуватості гірського масиву.

Аналіз представленої графічної залежності показує, що, для вищезазначених вартісних показників буріння та підривання, діаметр свердловинного заряду для практично монолітного масиву становить 200 мм, для середньо тріщинуватого – 216 та 250 мм, для сильно тріщинуватого – 320 мм.

Перспективним є подальші дослідження зі встановлення впливу вартісних показників буріння та підривання на вибір оптимального діаметру свердловинних зарядів.

Список використаної літератури:

1. Тищенко С.В. Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ / С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, К.А. Федин // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2012. – № 32. – С. 25–28.
2. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різномісних масивів гірських порід на кар'єрах : дис. ... д.т.н. : Спец. 05.15.03 / О.О. Фролов. – К., 2014. – 369 с.
3. Шапурін О.В. Оптимізація комбінованого буріння свердловин з утворенням котловин великого діаметру / О.В. Шапурін, П.М. Синичич // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 015. – Вип. 39. – С. 107–113.
4. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки / ВНТП 13-1-86 (МЧМ СССР) – 1986. – 194 с.
5. Носков В.Ф. Буровзрывные работы на открытых и подземных разработках / В.Ф. Носков, В.И. Комащенко, Н.И. Жабін. – М. : Недра, 1982. – 320 с.
6. Кравець В.Г. Підривні роботи на кар'єрах / В.Г. Кравець, В.Д. Воробйов, А.О. Кузьменко. – К. : ІСДО, 1994. – 376 с.
7. Научные основы проектирования карьеров ; под ред. В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова. – М. : Недра, 1971. – 600 с.
8. Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А. Авдеев, В.Л. Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1986. – 511 с.
9. Фролов О.О. Щодо вибору ефективного діаметру свердловинних зарядів на кар'єрах / О.О. Фролов, А.В. Хлановський // Вісник НТУУ «КПІ» : Серія «Гірництво» : зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 33. – С. 15–21.
10. Кутузов Б.Н. Выбор рационального диаметра взрывных скважин на карьерах / Б.Н. Кутузов, А.А. Вареничев // Горн. журн. – 1976. – № 8. – С. 47–51.
11. Фролов А.А. Проблемы выбора рационального диаметра скважинных зарядов на карьерах / Ю.С. Мальцева, А.А. Фролов // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и

студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее». – Тула : Тульский государственный университет, 2017. – С. 30–35.

12. Фролов О.О. Визначення ефективного діаметру свердловинного заряду з урахуванням техніко-економічної оцінки буропідричних робіт / О.О. Фролов, Ю.С. Мальцева // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 46. – С. 9–14.

References:

1. Tishchenko, S.V., Eremenko, G.I. and Fedin, K.A. (2012), «Osobennosti mekhanizma razrusheniya gornyykh porod differentsirovannymi skvazhinnyimi zaryadami vzryvchatykh veshchestv», *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu: zb. nauk. prats'*, No. 32, Pp. 25–28.
2. Frolov, O.O. (2014), *Keruvannya energetichnimi potokami pri vibukhovomu ruiniuvanni riznomitsnisnikh masiviv girs'kikh porid na kar'erakh*, abstract of d.t.n, Spec. 05.15.03, K., 369 p.
3. Shapurin, O.V. and Sinichich, P.M. (2015), «Optimizatsiya kombinovanogo burinnya sverdlovin z utvorenyam kotlovin velikogo diametru», *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu, zb. nauk. prats'*, Iss. 39, Pp. 107–113.
4. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii chernoi metallurgii s otkrytym sposobom razrabotki (1986), VNTP 13-1-86 (MChM SSSR), 194 p.
5. Noskov, V.F., Komashchenko, V.I. and Zhabin, N.I. (1982), *Burovzryvnye raboty na otkrytykh i podzemnykh razrabotkakh*, Nedra, M., 320 p.
6. Kravec', V.G., Vorobjov, V.D. and Kuz'menko, A.O. (1994), *Pidrivni roboti na kar'erakh*, ISDO, K., 376 p.
7. Rzhetskogo, V.V., Novozhilova, M.G. and Jumatova, B.P. (ed.) (1971), *Nauchnye osnovy proektirovaniya kar'erov*, Nedra, M., 600 p.
8. Avdeev, F.A., Baron, L., Gurov, N.V. and Kantor, V.H. (1986), *Normativnyj spravochnik po burovzryvnym robotam*, 5^{ed.}, pererab. i dop., Nedra, M., 511 p.
9. Frolov, O.O. and Hlanov's'kyj, A.V. (2017), «Shhodo vyboru efektyvnogo diametru sverdlovyvnykh zarjadiv na kar'jerah», *Visnyk NTUU «KPI»*, Serija «Girnyctvo», zb. nauk. prac', Iss. 33, Pp. 15–21.
10. Kutuzov, B.N. and Varenichev, A.A. (1976), «Vybor racional'nogo diametra vzryvnykh skvazhin na kar'erakh», *Gorn. Zhurn*, No. 8, Pp. 47–51.
11. Frolov, A.A. and Mal'ceva, Ju.S. (2017), «Problemy vybora racional'nogo diametra skvazhinnykh zarjadov na kar'erakh», *Materialy 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenykh i studentov «Opyt proshlogo – vzgljad v budushhee»*, Tul'skij gosudarstvennyj universitet, Tula, Pp. 30–35.
12. Frolov, O.O. and Mal'ceva, Ju.S. (2018), «Vyznachennja efektyvnogo diametru sverdlovyvnykh zarjadov z urahuvannjam tehniko-ekonomichnoi' ocinky burypidrivnykh robotit», *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu, zb. nauk. prac'*, Iss. 46, Pp. 9–14.

Фролов Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- буропідричні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: frolov@geobud.kiev.ua.

Литвинчук Ілля Дмитрович – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: frolov@geobud.kiev.ua.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2018.